



DEUTSCHES
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift
11 DE 3735787 A1

21 Aktenzeichen: P 37 35 787.5
22 Anmeldetag: 22. 10. 87
43 Offenlegungstag: 30. 3. 89

51 Int. Cl. 4:
B 05 B 17/06
B 22 F 9/08
B 06 B 1/00
B 05 B 1/14
B 05 B 1/24
B 05 B 7/16
B 05 D 1/02
B 05 D 1/08
C 23 C 4/12

DE 3735787 A1

30 Innere Priorität: 32 33 31
22.09.87 DE 37 31 866.7

71 Anmelder:
Stiftung Institut für Werkstofftechnik, 2820 Bremen, DE

74 Vertreter:
Bolte, E., Dipl.-Ing.; Möller, F., Dipl.-Ing., 2800 Bremen; Popp, E., Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dr. rer. pol.; Sajda, W., Dipl.-Phys.; Bohnenberger, J., Dipl.-Ing. Dr. phil. nat., Pat.-Anwälte, 8000 München; Böckmann, C., Dr., Rechtsanw., 2800 Bremen

72 Erfinder:
Bauckhage, Klaus, Prof. Dr.-Ing., 2800 Bremen, DE; Kunert, Norbert, 2820 Bremen, DE; Schreckenber

Peter, Dipl.-Ing., 2800 Bremen, DE; Vettters, Hermann, Dr. phil., 2820 Bremen, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 36 37 631 C1
DE 28 47 713 C2
DE 26 56 330 C2
DE-AS 14 00 706
DE-AS 12 50 065
DE 36 41 437 A1
DE 28 42 232 A1
DE 28 02 083 A1
DE 27 05 420 A1
DE 23 37 812 A1
DE-OS 15 58 356
EP 01 58 485 A2

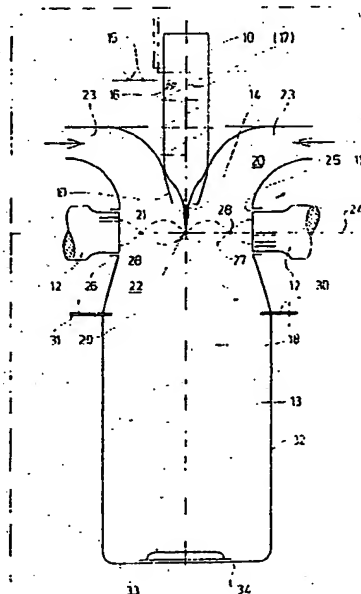
US-Buch: Metals Handbook Ninth Edition, Vol.7, Powder Metallurgy, S.48,49;

54 Verfahren und Vorrichtung zum Zerstäuben mindestens eines Strahls eines flüssigen Stoffs, vorzugsweise geschmolzenen Metalls

Bekannte Verfahren und Vorrichtungen der hier angesprochenen Art verfügen über geringe Zerstäubungsleistungen und eine daraus resultierende langsame Abkühlung der zerstäubten Metallpartikel o. dgl. Das führt zu ungünstigen Kornbildungen. Das erfindungsgemäße Verfahren sowie eine entsprechende Vorrichtung sollen diese Nachteile beseitigen.

Verfahrensmäßig wird vorgeschlagen, die geschmolzenen Metallpartikel o. dgl. in einem verdichteten gasförmigen Medium, das eine höhere Energieübertragung für den verwendeten Ultraschall bietet, zu zerstäuben. Des weiteren wird vorrichtungsmäßig vorgeschlagen, mehrere Ultraschallschwinger (12) zu verwenden. Diese erzeugen durch Superposition ein (gemeinsames) Ultraschallfeld (27) mit einer hohen Energiedichte im Knotenbereich (29) zur Intensivieren Zerstäubung und einer damit zusammenhängenden besseren Abschreckrate.

Das vorgeschlagene Verfahren und die entsprechende Vorrichtung eignen sich besonders zur Herstellung spezifischer Werkstoffe bzw. hieraus bestehender Gegenstände.



DE 3735787 A1

Patentansprüche

1. Verfahren zum Zerstäuben mindestens eines Strahls eines flüssigen Stoffs, vorzugsweise geschmolzenen Metalls, wobei der Strahl durch ein Ultraschallfeld geleitet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die flüssigen Stoffe (geschmolzene Metalle) innerhalb eines verdichteten gasförmigen Mediums durch das Ultraschallfeld (27) hindurchgeleitet werden. 5
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als gasförmiges Medium ein Inertgas (Stickstoff) oder ein Reaktionsgas (Wasserstoff) verwendet wird. 10
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das gasförmige Medium auf eine Temperatur unterhalb des Liquiduspunktes des zu zerstäubenden Metalls gebracht wird zur Schnellabschreckung desselben. 15
4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß unmittelbar nach dem Zerstäuben die Stoffpartikel, insbesondere Metallpartikel, kompaktiert werden. 20
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Kompaktieren in dem zur Zerstäubung dienenden, verdichteten gasförmigen Medium durchgeführt wird. 25
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Kompaktieren druckunterstützt durchgeführt wird, insbesondere unter Ausnutzung der superplastischen Eigenschaft der Metallpartikel. 30
7. Vorrichtung zum Zerstäuben mindestens eines Strahls eines flüssigen Stoffs, vorzugsweise geschmolzenen Metalls, mit einem Tiegel zum Schmelzen des zu zerstäubenden Stoffs bzw. Metalls und wenigstens einem Ultraschall-Zerstäubungsorgan, dadurch gekennzeichnet, daß das Ultraschall-Zerstäubungsorgan mindestens zwei Ultraschallschwinger (12) aufweist. 35
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Ultraschall-Zerstäubungsorgan zwei auf einer gemeinsamen Schwingerachse (24) einander mit Abstand gegenüberliegende Ultraschallschwinger (12) aufweist. 40
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß beide Ultraschallschwinger (12) über die gleichen Kenngrößen, insbesondere gleiche Leistung, verfügen. 45
10. Vorrichtung nach Anspruch 7, sowie einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ultraschallschwinger (12) derart relativ zum Tiegel (10) angeordnet sind, daß ein von den Ultraschallschwingern (12) erzeugtes (stehendes) Ultraschallfeld (27) sowohl senkrecht als auch in einer kegelförmigen Ablenkbahn mit variablen Winkel zu einer Längsmittelachse (18) verläuft. 50
11. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwingerachse (24) durch entsprechende Lageveränderung beider Ultraschallschwinger (12) in der Lage veränderbar ist, insbesondere aus der Horizontalen (Normallage) herauschwenkbar ist, derart, daß das Ultraschallfeld (27) sowohl senkrecht als auch in einer kegelförmigen Ablenkbahn mit variablem Winkel zu der Längsmittelachse (18) des Schmelzstrahls verläuft. 55
12. Vorrichtung nach Anspruch 7, sowie einem oder

mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß am Austritt (Öffnung 14) der Schmelze aus dem Tiegel (10) eine Düse (11) angeordnet ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich des engsten Querschnitts der Düse (11) die Ultraschallschwinger (12) angeordnet sind, vorzugsweise derart, daß die Schwingerachse (24) derselben kurz vor dem engsten Querschnitt (Verengungsabschnitt) der Düse (11) (vom Tiegel 10 aus gesehen) sich befindet.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Düse (11) lavaldüsenartig ausgebildet ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 7, sowie einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Düse (11) wenigstens eine Gas-Zufuhrleitung (Ringkanal 23) zugeordnet ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Gas-Zufuhrleitung als ein an der zum Tiegel (10) gerichteten (Zufluß-)Seite der Düse (11) angeordneter Ringkanal (23) ausgebildet ist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 11, sowie einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Düse (11) ein Druckbehälter (13) nachgeordnet ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 11, sowie einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens die Ultraschallschwinger (12), die Düse (11) und der Tiegel (10) innerhalb eines (gemeinsamen) Druckbehälters (13) angeordnet sind.

19. Vorrichtung nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, daß im Druckbehälter (13) Einrichtungen zum Formen der zerstäubten Metallpartikel angeordnet sind.

20. Vorrichtung nach Anspruch 7, sowie einem oder mehreren der weiteren Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ultraschall-Zerstäubungsorgan mehrere Paare auf einer gemeinsamen Schwingerachse mit Abstand gegenüberliegend angeordneter Ultraschallschwinger (12) aufweist.

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß sämtliche Paare gegenüberliegender Ultraschallschwinger (12) ein festgelegtes Ultraschallfeld (27) bilden, in dem sich ein oder mehrere Knotenbereiche (28, 29) ausbilden mit sich in einem gemeinsamen Knotenbereich (29) kreuzenden Schwingerachsen angeordnet sind.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß mehreren, insbesondere jedem Knotenbereich (28, 29), wenigstens ein Tiegel (10) und vorzugsweise auch eine Düse (11) zugeordnet sind zum gleichzeitigen Zerstäuben mehrerer Strahlen.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Zerstäuben mindestens eines Strahls eines flüssigen Stoffs, vorzugsweise geschmolzenen Metalls, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung zum Zerstäuben gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 7.

Verfahren und Vorrichtungen zum Zerstäuben flüssiger Stoffe bzw. geschmolzenen Metalls sind grundsätzlich bekannt. In zunehmendem Maße finden solche Verfahren auch auf dem Werkstoffsektor zur Herstellung

bestimmter Werkstoffe, insbesondere solcher mit spezifischen Eigenschaften Verwendung. Das Zerstäuben des aus einem Tiegel austretenden Strahls mit bis auf Temperaturen oberhalb des Liquiduspunktes erhitzten Metallpartikeln, also der Schmelze, erfolgt dabei durch ein stehendes Ultraschallfeld, das zwischen einem Schwing- 5 ger und einem (nicht aktiven) Reflektor gebildet wird. Nachteilig hieran ist die begrenzte Ultraschall-Leistung. Das führt dazu, daß bekannte Vorrichtungen und Verfahren zum Ultraschall-Zerstäuben geschmolzener Metalle bisher nur in geringem Umfange eingesetzt worden sind, und zwar meist das Laborstadium nicht überschritten haben. Auch im Zusammenhang mit anderen Einsatzzwecken, beispielsweise beim Zerstäuben von Flüssigkeitsstrahlen mit Ultraschall, hat sich die nur begrenzt verfügbare Ultraschall-Leistung als Hemmnis für eine gerwerbsmäßige Anwendung herausgestellt.

Des weiteren führt die geringe Ultraschall-Leistung beim Zerstäuben von flüssigen Metallen dazu, daß die damit gleichzeitig einhergehende Abkühlung der Schmelze auf Temperaturen unterhalb des Soliduspunktes nicht rasch genug erfolgen kann. Das hat ein unkontrolliertes Abkühlen der zerstäubten Teilpartikeln und damit verbundenen ungünstigen Korngrößen und -eigenschaften zur Folge.

Hiervon ausgehend liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, wodurch eine erhöhte Zerstäubungsleistung und beim Zerstäuben von flüssigem Metall eine bessere Abschreckung der zerstäubten Metallpartikel gewährleistet ist.

Verfahrensmäßig wird diese Aufgabe durch den Anspruch 1 gelöst. Durch die Erzeugung des Ultraschallfeldes in einem verdichteten, also unter Überdruck stehenden Medium, wird eine höhere Energie-Übertragung ermöglicht. Das führt dazu, daß mit einem Ultraschallfeld höherer Energiedichte bei der Zerstäubung gearbeitet werden kann und damit eine größere Zerstäubungsleistung erreichbar ist.

Aus der durch das erfindungsgemäße Verfahren erhöhten Zerstäubungsleistung resultiert darüber hinaus eine bessere Abschreckung der zerstäubten Metallpartikel, da diese durch das energiereichere Ultraschallfeld einen größeren Impuls erhalten, der zu einem vergrößerten "Schlupf" der Metallpartikel im druckbeaufschlagten Medium, in der die Zerstäubung stattfindet, führt. Hierdurch wird verhindert, daß sich um die Metallpartikel herum jeweils ein Schleier angewärmten Gases bildet; vielmehr können die Metallpartikel aufgrund ihrer Beaufschlagung durch einen höheren Impuls in ständigen Kontakt mit frischem, noch nicht vorgewärmten Umgebungsgas gebracht werden.

Des weiteren wird vorgeschlagen, das druckbeaufschlagte gasförmige Medium auf eine Temperatur unterhalb des Liquiduspunktes der Metallpartikel abzukühlen, vorzugsweise auf Temperaturen bis minimal -200°C , wodurch Abkühlraten von $> 10^7\text{K/s}$ erreicht werden können. Diese Maßnahme führt ohne einen nennenswerten zusätzlichen Aufwand zu einer Schnellabschreckung.

Des weiteren wird verfahrensgemäß vorgeschlagen, die zerstäubten Metallpartikel zur Bildung eines Halbzeuges oder eines gewünschten Formteiles unmittelbar nach dem Abschrecken und Zerstäuben zu kompaktieren. Hierdurch werden die abgeschreckten Metallpartikel unter Ausnutzung ihrer superplastischen Eigenschaften vorzugsweise druckunterstützt auf eine entsprechende Unterlage "aufgeschossen", wobei eine Ver-

schweißung der einzelnen Metallpartikel erfolgt. Das Kompaktieren wird zweckmäßigerweise dann vorgenommen, wenn die zerstäubten Metallpartikel eine feste Phase erlangt haben und soweit abgekühlt sind, daß einerseits eine Gefügeumwandlung nicht mehr stattfindet und andererseits die Metallpartikel noch warm genug zum Verschweißen sind.

Die vorrichtungsmäßige Lösung der Aufgabe ist dem Anspruch 7 zu entnehmen. Durch die Verwendung mindestens zweier (aktiver) Schwinger, also eines Schwingerpaares, entsteht ein besonders energiereiches Ultraschallfeld. Zur weiteren Leistungssteigerung können weitere Schwingerpaare vorgesehen werden, die zweckmäßigerweise gleiche Daten sowie auch superpositionsfähige Parameter hinsichtlich Leistung, Frequenz sowie Amplitude der Schwinger aufweisen und derart angeordnet sind, daß ihr stehendes Ultraschallfeld einen oder auch mehrere gemeinsame Knotenbereiche aufweist. Durch Hindurchleiten des im Tiegel erzeugten Schmelzstrahls durch diesen Knotenbereich findet die Zerstäubung dort statt, wo eine Superposition der Ultraschallfelder erfolgt, das heißt die größte Energiedichte vorhanden ist. Verglichen zu herkömmlichen Vorrichtungen ermöglicht die erfindungsgemäße Vorrichtung einen erheblich größeren Durchfluß an zu zerstäubender Schmelzmasse und einem damit verbundenen wirtschaftlicheren Einsatz. Gleichzeitig wird durch die Superposition mehrerer Ultraschallfelder trotz eines erhöhten Durchsatzes zu zerstäubender Schmelze auch noch eine geforderte Schnellabschreckung zur Bildung eines Feinstgefüges erreicht. Auch wird durch die Verwendung zweier aktiver Schwinger ein Ankleben zerstäubter Partikel an die Schwingerfläche wirksam vermieden.

Nach einer besonders vorteilhaften Weiterbildung der Vorrichtung ist vorgesehen, die Ultraschallschwinger in ihrer Lage derart gemeinsam zu verändern, daß die (horizontale) Schwingerachse beliebige Neigungen erhält. Damit ist es möglich, die zerstäubten Partikel aus einer vertikalen Bahn gezielt abzulenken. Es ist so ein Kompaktieren komplexer Werkstücke vorteilhaft durchführbar.

Nach einem weiteren Vorschlag der Erfindung ist dem Austritt der Schmelze aus dem Tiegel eine Düse nachgeordnet, die vorzugsweise lavaldüsenartig ausgebildet ist. Die Schwinger sind dabei derart der Düse zugeordnet, daß der Knotenbereich der superpositionierten Ultraschallfelder gegenüber dem engsten Querschnitt der Düse geringfügig zum Tiegel hin versetzt ist. Dadurch erfolgt nicht nur eine Beschleunigung der Stoffe durch die Zerstäubung im Knotenbereich der Ultraschallfelder, sondern zusätzlich auch eine Richtungsweisung durch die sich nach dem Knotenbereich noch verengende Düse.

Schließlich wird vorgeschlagen, der Düse einen (Druck-)Behälter nachzuordnen. Eine solche Vorrichtung eignet sich besonders auch zur Durchführung des eingangs geschilderten erfindungsgemäßen Verfahrens, weil dadurch sowohl im Bereich der Düse als auch im Bereich des Druckbehälters in einfacher Weise eine Verdichtung des gasförmigen Trägermediums für die Ultraschallwelle möglich ist. Die Energiedichte im zur Zerstäubung dienenden Ultraschall-Knotenbereich wird somit durch eine Kombination mehrerer energiesteigernder Maßnahmen, nämlich die Superposition mehrerer Ultraschallfelder und die Erhöhung der Energieübertragung im verdichteten Medium optimal gestaltet. Weiterhin kann der Druckbehälter genutzt wer-

den zur Aufnahme einer Auftragfläche bzw. Auftragform zur Kompaktierung der zerstäubten und abgeschreckten Mikro-Metallpartikel. Alternativ kann auch die gesamte Vorrichtung in einem Druckbehälter untergebracht sein. Dies hat insbesondere eine Druckentlastung im Tiegel zur Folge.

Der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren unter Zuhilfenahme der vorstehend beschriebenen Vorrichtung entstehende Werkstoff verfügt über besonders günstige Eigenschaften, da hierdurch ein besonders homogenes kristallines bzw. amorphes Gefüge mit globulären Körnern, die $< 0,1 \mu\text{m}$ sein können, entsteht. Ein solches Material verfügt über superplastische Eigenschaften, die eine isotrope Verformbarkeit ermöglichen. Das schnelle Abkühlen führt auch zu einer Einbindung der Verunreinigungen in die aus den zerstäubten Metallpartikel entstehenden globulären Mikrokörnern.

Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigen:

Fig. 1 einen vereinfacht dargestellten Vertikalschnitt durch die Vorrichtung,

Fig. 2 einen unteren Abschnitt eines Druckbehälters mit einem darin angeordneten Formenträger,

Fig. 3 einen horizontalen Querschnitt III-III durch die Vorrichtung gemäß der Fig. 1 im Bereich zweier Schwinger,

Fig. 4 einen teilweisen Vertikalschnitt gemäß der Fig. 1 durch eine zweite Ausführungsform der Vorrichtung, und

Fig. 5 einen teilweise dargestellten Vertikalschnitt gemäß der Fig. 1 durch ein drittes Ausführungsbeispiel der Vorrichtung.

Die hier gezeigte Vorrichtung dient zur Zerstäubung eines Strahls flüssigen Metalls für die Herstellung eines metallischen Pulvers, von Werkzeugen, Halbzeugen und Fertigteilen.

Wie insbesondere aus der Fig. 1 entnehmbar, setzt sich die Vorrichtung zusammen aus einem Tiegel 10, einer sich daran anschließenden Düse 11 und im vorliegenden Ausführungsbeispiel zwei Ultraschallschwingern 12 sowie einem letzteren nachgeordneten Druckbehälter 13.

Der Tiegel 10 am oberen Bereich der Vorrichtung ist hier flaschenförmig ausgebildet mit einer nach unten weisenden, sich verjüngenden Öffnung 14. Gefüllt ist der Tiegel 10 im vorliegenden Falle bis zum Pegelstand 15 mit dem zu schmelzenden und verdüsenden Rohmaterial aus pulver- bzw. körnchenförmigem metallischen Granulat 16. Durch eine in der Fig. 1 punktrichliniert dargestellte Heizspirale 17 um den Tiegel 10 erfolgt ein Schmelzen des darin enthaltenen Granulats 16 auf eine Temperatur oberhalb des Liquiduspunktes.

Die mittig in bezug auf eine aufrechte Längsmittelachse 18 der Vorrichtung angeordnete Öffnung 14 des Tiegels 10 mündet in einen aufrechten Eintrittstrichter 19 der Düse 11. Diese ist hier etwa lavaldüsenartig ausgebildet, verfügt nämlich über einen oberen längs eines umlaufenden Bogens sich verjüngenden Beschleunigungsabschnitt 20, einen sich daran anschließenden Verjüngungsabschnitt 21 und einen unteren kegelstumpfförmigen Austrittsabschnitt 22.

Im oberen Bereich des Beschleunigungsabschnitts 20 mündet von der Seite her ein Gaszufuhrkanal, der im vorliegenden Ausführungsbeispiel als radial umlaufender Ringkanal 23 ausgebildet ist. Durch diesen ist ein gasförmiges Prozeßmedium, vorzugsweise ein auf eine

Temperatur unterhalb der Raumtemperatur abgekühltes Inert- oder Reaktionsgas, unter Druck der Vorrichtung zuführbar.

Dem mittleren Verengungsabschnitt 21 der Düse 11 sind im vorliegenden Ausführungsbeispiel die beiden Ultraschallschwinger 12 gegenüberliegend angeordnet, und zwar derart, daß sie auf einer gemeinsamen, horizontalen Schwingerachse 24 liegen, die die Längsmittelachse 18 der Vorrichtung schneidet. Die Ultraschallschwinger 12 sind mit ihren vorderen Abschnitten durch entsprechende Durchführungsöffnungen 25 in den Verengungsabschnitt 21 der Düse eingeführt. Dazu sind die Durchführungsöffnungen 25 mit jeweils einem korrespondierenden, umlaufenden Kragen 26 versehen. Die Fixierung der Ultraschallschwinger 12 erfolgt separat in geeigneter, nicht dargestellter Weise außerhalb der vorderen Köpfe der Ultraschallschwinger 12, und zwar schwingungsmäßig entkoppelt.

Die Relativlage der Schwingerachse 24 in bezug auf die einzelnen Abschnitte der Düse 11 ist hier derart getroffen, daß die Schwingerachse 24 etwas oberhalb des Verengungsabschnitts 21 sich befindet, also etwa im Endbereich des Beschleunigungsabschnitts 20.

Die beiden Ultraschallschwinger 12 sind im vorliegenden Ausführungsbeispiel gleich ausgebildet, verfügen insbesondere über gleiche Leistungen, Frequenzen und Amplituden, erzeugen nämlich gleiche, einander überlagerte Ultraschallfelder 27 von etwa 20 kHz bei einer Schwingerleistung von 250 bis zu 3000 W. Im gezeigten Ausführungsbeispiel haben die beiden Ultraschallschwinger 12 einen Abstand von sechs Viertelwellen, wobei sie drei Knotenbereiche 28 bzw. 29 bilden, von denen der mittlere, auf der Schwingerachse 24 und der Längsmittelachse 18 liegende Knotenbereich 29 zur Zerstäubung des aus dem Tiegel 10 austretenden Strahls der zu zerstäubenden Schmelze dient.

Wie weiterhin der Fig. 1 entnommen werden kann, verfügt die Düse 11 an ihrem unteren Rand über einen kreisringförmigen Flansch 30, an den der Druckbehälter 13 mit einem korrespondierenden Anschlußflansch 31 befestigbar ist, vorzugsweise lösbar durch nicht dargestellte Schrauben.

Der Druckbehälter kann im einfachsten Falle — wie gezeigt — aus einem zylindrischen Mantel 32 und einem ebenen, horizontalen Boden 33 bestehen. In diesem Falle kann der Boden 33 zur Aufnahme einer in der Fig. 1 gezeigten Trägerplatte 34 dienen, auf die die zerstäubten Metallpartikel aufbringbar sind, und zwar vorzugsweise zum Kompaktieren.

Die Fig. 2 zeigt eine auf dem Boden 33 des Druckbehälters 13 angeordnete Negativform 35. Dadurch können im Druckbehälter bereits fertige Werkstücke beliebiger Gestalt durch Kompaktieren im superplastischen Zustand der Metallpartikel hergestellt werden. Vorzugsweise lassen sich so rotationssymmetrische Teile herstellen. Damit diese eine nahezu gleichmäßige Wandstärke erhalten, kann die Negativform 35 im Druckbehälter 13 um ihre (senkrechte) Rotationsachse durch einen geeigneten Antrieb kontinuierlich gedreht werden.

Alternativ ist es auch denkbar, abweichend vom gezeigten Ausführungsbeispiel den Druckbehälter so groß auszubilden, daß in diesem der Tiegel 10 mit der Düse 11 und den Ultraschallschwingern 12 vollständig eingesetzt werden kann, beispielsweise hängend unter einem den Druckbehälter verschließenden Deckel. Diese alternative Ausbildung des Druckbehälters ist in der Fig. 1 strichpunktiert angedeutet.

Die Fig. 3 zeigt eine alternative Anordnung einer Vielzahl von Ultraschallschwinger 12, derart, daß zur weiteren Leistungssteigerung mehrere Schwingerpaare aus einander gegenüberliegenden Ultraschallschwinger 12 vorgesehen sind. Dementsprechend sind in der Fig. 3 dem Schwingerpaar aus den beiden Ultraschallschwinger 12 drei weitere strichpunktirt dargestellte Schwingerpaare zugeordnet, deren Schwingerachsen 24 in einer gemeinsamen horizontalen Ebene liegen zur Erzeugung weiterer Ultraschallfelder, die allesamt im (mittigen) Knotenbereich 29 auf der Längsmittelachse 18 der Vorrichtung liegen.

Die gezeigte Vorrichtung ermöglicht eine besonders hohe Zerstäubungsleistung und hohe Abschreckraten, indem durch mehrere Ultraschallschwinger 12, die jeweils ein gleiches Ultraschallfeld 27 erzeugen, eine hohe Energiedichte im Knotenbereich 29 entsteht und darüber hinaus die Ultraschallwelle 27 durch ein verdichtetes gasförmiges Medium mit hohen Energieübertragungseigenschaften hindurchgeleitet wird. Es ist aber auch möglich, eine Verbesserung der Zerstäubungsleistung bekannter Vorrichtungen bzw. Verfahren dieser Art schon dadurch zu erreichen, daß entweder (wie beim Stand der Technik) mit nur einem Ultraschallschwinger die Zerstäubung in einem unter Druck stehenden gasförmigen Medium, also im Druckbehälter 13 erfolgt, oder mit einer Mehrzahl von Ultraschallschwinger in einem unter (normalen) atmosphärischen Druck stehenden gasförmigen Medium das Zerstäuben des geschmolzenen Metalls erfolgt. In diesem Fall kann der Druckbehälter 13 oder der strichpunktirt dargestellte Druckbehälter entfallen.

Die in der Fig. 1 gezeigte Vorrichtung arbeitet wie folgt: Das im Tiegel 10 durch die Heizspirale 17 erhitzte Granulat oder dergleichen aus metallischem Werkstoff gelangt durch die Öffnung 14 des Tiegels 10 in form eines flüssigen Strahls in den Beschleunigungsabschnitt 20 der Düse 11, wo es vor Erreichen des Verengungsabschnitts 21 im Knotenbereich 29 durch die Ultraschallwelle 27 zerstäubt wird. Die durch das Zerstäuben und die anschließende weitere Verengung der Düse 11 auf den Verengungsabschnitt 21 erfolgende Beschleunigung der Metallpartikel bewirkt einen "Schlupf" desselben im gasförmigen Medium. Das hat eine Schnellabschreckung der zerstäubten Metallpartikel zur Folge. Die Schnellabschreckung wird erfindungsgemäß dadurch noch erhöht, daß zum einen das Zerstäuben in einem verdichteten gasförmigen Medium stattfindet, wodurch eine höhere Energie von der Ultraschallwelle 27 aufbringbar ist und zum anderen der Düse 11 durch den Ringkanal 23 mit Überdruck Inertgas (Stickstoff) oder Reaktionsgas (Wasserstoff) zuführbar ist, welches bis zu -200°C abgekühlt sein kann.

Die in der vorstehend beschriebenen Weise zerstäubten und schnell abgeschreckten Metallpartikel verfügen über sehr kleine, überwiegend globulare Körner ($< 0,1 \mu\text{m}$), die soweit abgekühlt sind, daß keine Gefügeumwandlung mehr stattfindet, aber unter Ausnutzung der superplastischen Eigenschaften eine Verschweißung der Körner erfolgt, wenn diese kompaktiert werden, also auf die Trägerplatte 34 oder die Negativform 35 auf dem Boden 33 des Druckbehälters 13 druckunterstützt aufgebracht werden.

Die Fig. 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung, welches sich von demjenigen der Fig. 1 bis 3 dadurch unterscheidet, daß die Ultraschallschwinger 12 lageveränderlich der Düse 11 zugeordnet sind. Dazu sind die Ultraschallschwinger

gleichermaßen, aber in entgegengesetzten Richtungen derart gegenüber der Düse 11 bzw. mit einem Teil derselben in ihrer Lage veränderlich, daß die Schwingerachse 24 aus der (normalen) Horizontalen heraus-schwenkbar ist. Dadurch lassen sich die zerstäubten Metallpartikel nach Erreichen des Knotenbereichs 29 gegenüber der Längsmittelachse 18 ablenken in eine aus der Vertikalen abweichende Richtung. Der von den zerstäubten Metallpartikeln gebildete Kegel mit Ursprung im Knotenpunkt 29 ist damit als Ganzes aus der Längsmittelachse 18 heraus-schwenkbar.

Darüber hinaus ist es denkbar, die Ultraschallschwinger 12 bei gleichbleibendem Abstand in Richtung längs zur Schwingerachse 24 zu verschieben, wodurch der Knotenbereich 29 sich exakt mit der Längsmittelachse 18 zur Deckung bringen läßt, bzw. bei einem von der Längsmittelachse 18 abweichenden Knotenbereich 29 mit dem aus dem Tiegel 10 austretenden Strahl flüssigen Metalls wieder zur Deckung bringen läßt. Auch sind so Abweichungen der Lage des Knotenbereichs 29 zwischen den Ultraschallschwinger 12 so ausgleichbar, daß der Knotenbereich 29 wiederum vom Strahl getroffen wird.

Bei dieser Vorrichtung sind die Ultraschallschwinger 12 ganz oder teilweise in einem als Faltenbalg 36 ausgebildeten Abschnitt der Düse 11 angeordnet. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel ist nur der oberen Hälfte der Ultraschallschwinger 12 der Faltenbalg 36 zugeordnet, so daß dieser den Beschleunigungsabschnitt 20 bzw. den Verengungsabschnitt 21 der Düse 11 bildet. Die untere Hälfte der Ultraschallschwinger 12 ist einem festen Abschnitt der Düse 11, nämlich etwa dem Austrittsabschnitt 22 zugeordnet, der zusammen mit den Ultraschallschwinger 12 verschwenkbar ist.

Schließlich zeigt die Fig. 5 ein drittes Ausführungsbeispiel der Vorrichtung. Diese weicht dadurch von den vorstehenden Ausführungsbeispielen der Vorrichtung ab, daß drei vorzugsweise in einer gemeinsamen vertikalen Ebene nebeneinanderliegende Tiegel 10 der Düse 11 zugeordnet sind. Der Abstand dieser drei Tiegel 10 ist derart gewählt, daß die drei aus demselben austretenden Strahlen geschmolzenen Metalls auf jeweils einen der drei Knotenbereiche 28 bzw. 29 des Ultraschallfeldes 27 gerichtet sind. Diese Vorrichtung ermöglicht eine besonders hohe Zerstäubungsleistung, in dem sämtliche Knotenbereiche 28 und 29 des Ultraschallfeldes 27 zur Zerstäubung der Strahlen flüssigen Metalls dienen.

Die Arbeitsweisen dieser alternativen Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Vorrichtung gemäß der Fig. 1 sind prinzipiell mit der weiter oben beschriebenen Arbeitsweise der in der Fig. 1 gezeigten Vorrichtung vergleichbar.

Bezugszeichenliste:

- 10 Tiegel
- 11 Düse
- 12 Ultraschallschwinger
- 13 Druckbehälter
- 14 Öffnung
- 15 Pegelstand
- 16 Granulat
- 17 Heizspirale
- 18 Längsmittelachse
- 19 Eintrittstrichter
- 20 Beschleunigungsabschnitt
- 21 Verengungsabschnitt
- 22 Austrittsabschnitt

- 23 Ringkanal
- 24 Schwingerachse
- 25 Durchführungsöffnung
- 26 Kragen
- 27 Ultraschallfeld
- 28 Knotenbereich
- 29 Knotenbereich
- 30 Flansch
- 31 Anschlußflansch
- 32 Mantel
- 33 Boden
- 34 Trägerplatte
- 35 Negativform
- 36 Faltenbalg

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

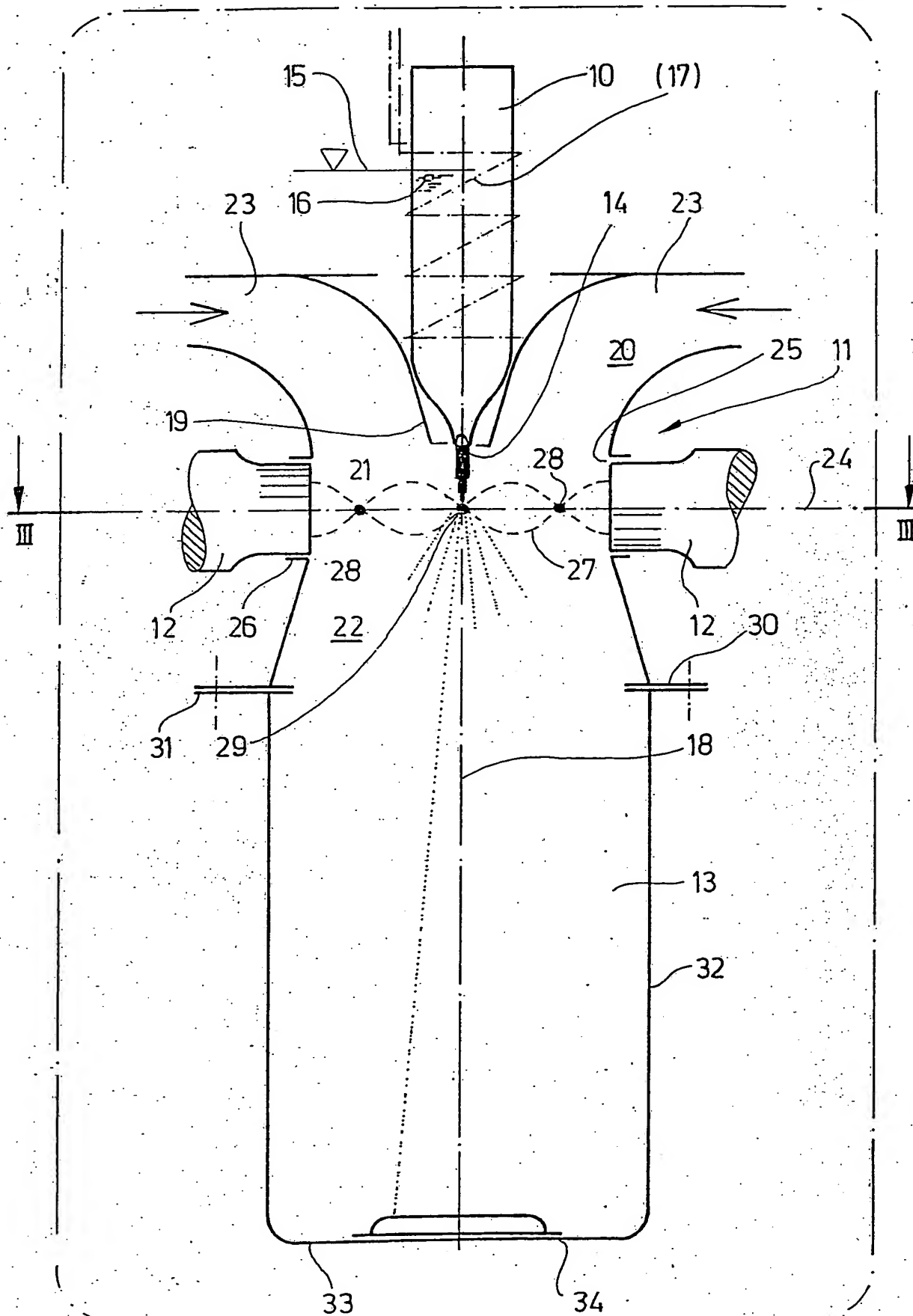
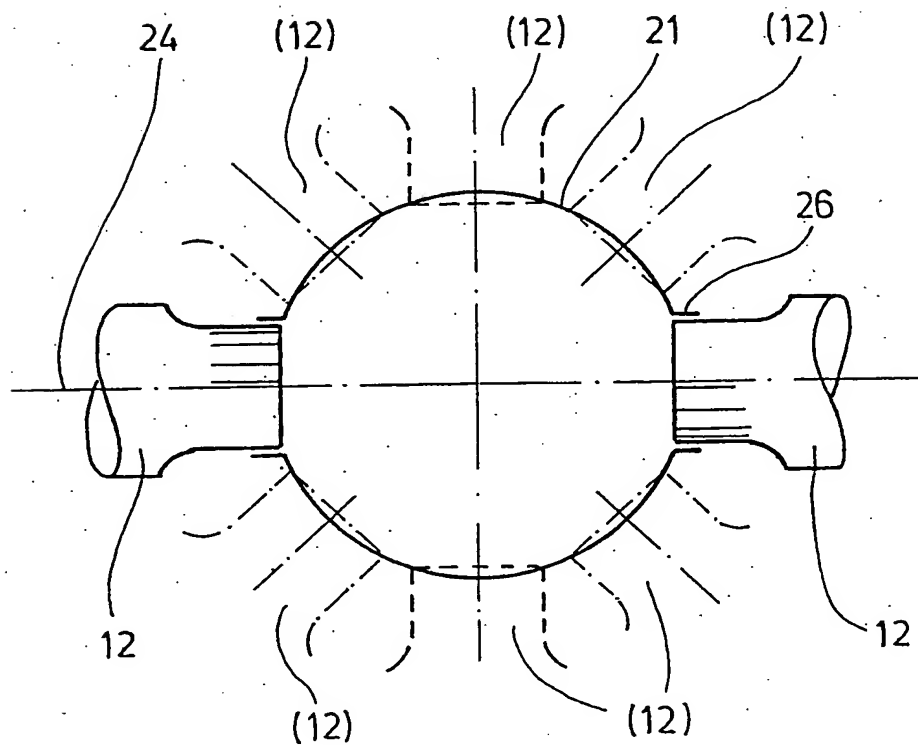
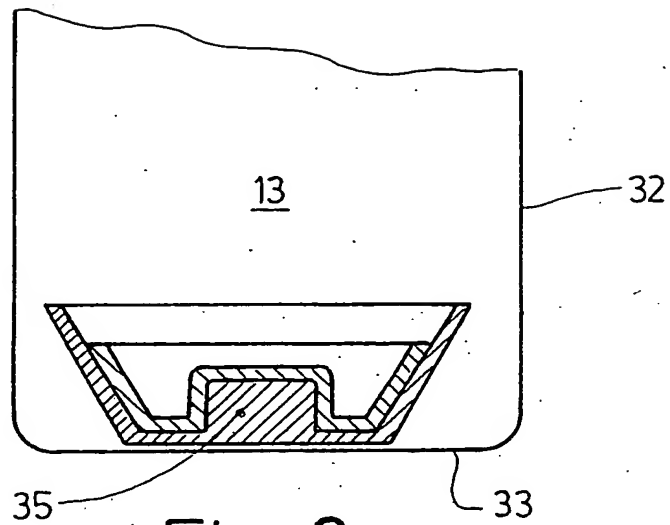


Fig. 1



ORIGINAL INSPECTED

3735787

4/4

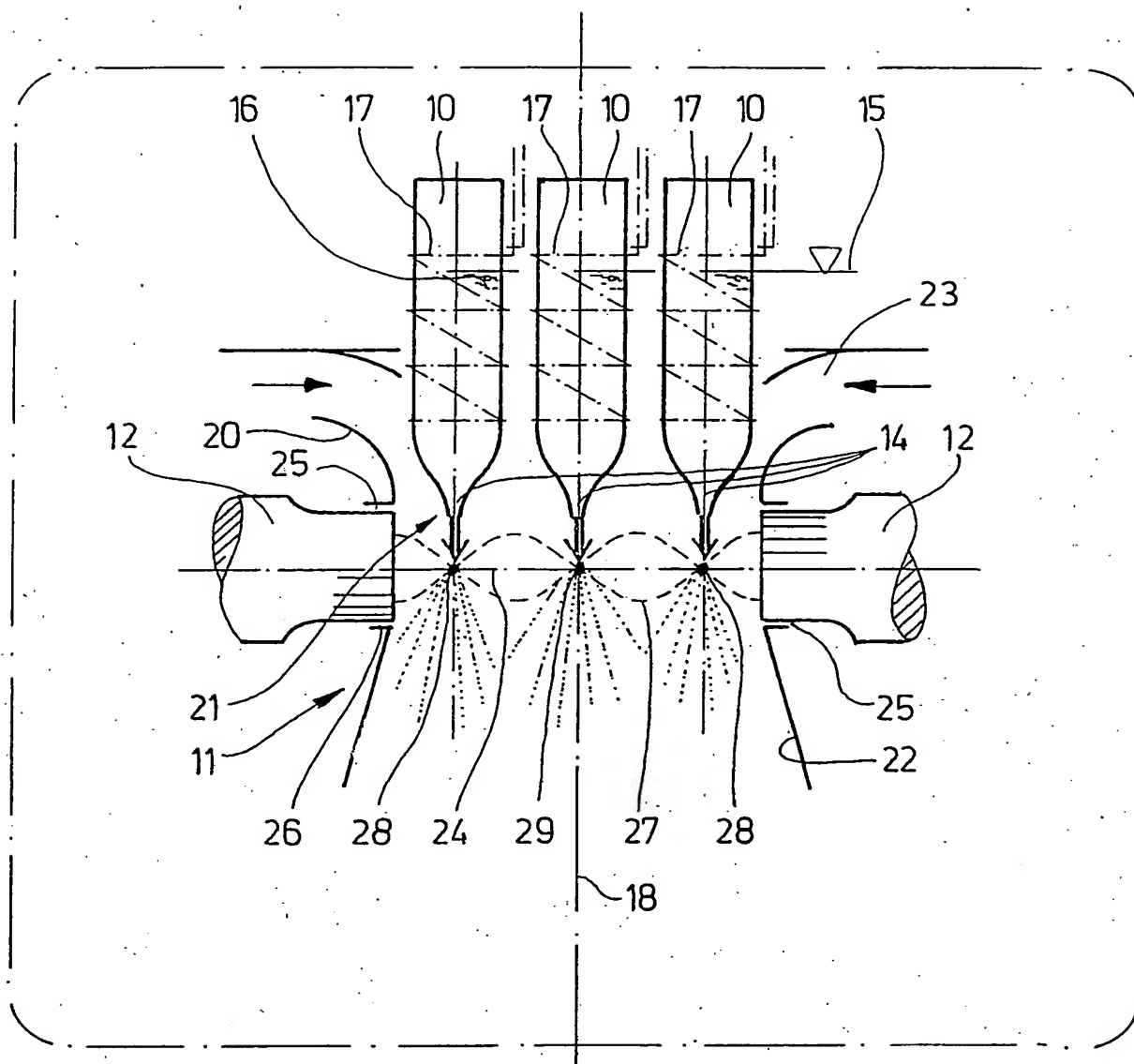


Fig. 5

ORIGINAL INSPECTED

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.